不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼生长、体成分和免疫力的影响

批注 [W用1]: 鲅 全文统改

蒋湘辉　骆小年*　金广海　李敬伟　刘义新　杨培民　张　健

（辽宁省淡水水产科学研究院，辽宁省水生动物病害防治重点实验室，辽阳 111000）

摘　要：为探讨不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼生长、体成分和免疫力的影响，以鱼粉和豆粕为蛋白质源，以豆油为脂肪源，配制蛋白质分别为23%、28%、33%、38%，脂肪水平分别为5%、8%、11%的12种半精制饲料，饲喂初始均重为（27.60±0.13） g的拉氏鱥幼鱼。每种饲料投喂3个网箱（重复），每个网箱放养30尾试验鱼，进行60 d的养殖试验。结果表明：饲料蛋白质水平对拉氏鱥幼鱼的增重率（WGR）、特定生长率（SGR）、蛋白质效率（PER）和饲料系数(FCR)有显著影响（$P<0.05$），饲料脂肪水平对拉氏鱥幼鱼的PER和FCR有显著影响（$P<0.05$），但饲料蛋白质和脂肪水平对各生长性能指标无显著的交互作用（$P>0.05$）。23%、28%蛋白质组的WGR和SGR显著高于33%和38%蛋白质组（$P<0.05$），8%脂肪组的FCR显著低于11%脂肪组（$P<0.05$），与5%脂肪组差异不显著（$P>0.05$）。随着饲料中蛋白质水平的升高，全鱼粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量都呈现出先升高后降低的趋势，在蛋白质水平为28%时达到最高值，而全鱼水分含量不受饲料蛋白质水平的影响（$P>0.05$）。随着饲料中脂肪水平的升高，全鱼粗脂肪含量呈现升高的趋势，但8%和11%脂肪组差异不显著（$P>0.05$）。嗜水气单胞菌攻毒48 h后，低、中蛋白质组（23%和28%蛋白质组）的存活率高于高蛋白质组（33%和38%蛋白质组），低脂肪组（5%脂肪组）的存活率高于其他2个脂肪组（8%和11%组）。综合以上研究结果得出，拉氏鱥幼鱼饲料的适宜蛋能比为23.67~26.03 mg/kJ，蛋白质水平为23%~28%，脂肪水平为5%~8%。

关键词：拉氏鱥幼鱼；蛋白质；脂肪；生长；体成分；免疫力

中图分类号：S963　文献标识码：A　文章编号：

拉氏鱥（*Phoxinus lagowskii*），属鲤形目，鲤科，雅罗鱼亚科，鱥属，为小型鱼类，俗名柳根鱼，分布于我国的黑龙江干支流以及热河、辽河至长江流域等地，主要在山区溪流等水质清澈度高的水体中生活[1]。拉氏鱥肉嫩味美、营养丰富，且抗病力强、生长速度快，具有广阔发展前景。国内的学者已经对拉氏鱥池塘驯化、养殖技术、适宜栖息地、营养成分分

收稿日期：2015-09-09
基金项目：辽宁省重大、重点项目（20082030001）
作者简介：蒋湘辉（1981-），女，工程师，硕士，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: jiangxianghui@sohu.com
*通信作者：骆小年，研究员，E-mail: luo2989_cn@sina.com

析与营养价值评价等方面进行了初步研究[2-8]。拉氏鱥为杂食性鱼类，也可以投喂人工配合饲料，目前已有专家学者对同一亚科的丁鱥（*Tinca tinca*）进行了营养需要等方面的研究[9-10]，而关于拉氏鱥适宜蛋白质和脂肪需求量研究在国内和国外还未见报道。本试验采用双因素方差分析，研究不同的蛋白质、脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼生长、体成分和免疫的影响，以寻找出符合该鱼最佳的生长且最科学的蛋白质和脂肪需求量，为拉氏鱥饲料的配制提供理论依据和参考。

1　试验材料

1.1　试验池塘

试验在辽宁省铁岭市铁岭县青年水库叉尾鮰良种场进行，试验池塘为土池塘，面积约 6 亩（1 亩≈667 m^2），水深 1.6 m。用木板在水面搭建架子，将 36 个 30 目的聚乙烯网箱（370 cm×170 cm×140 cm）固定在架子上，以高密度聚乙烯泡沫做浮子，网箱四角用坠石做沉子。

1.2　试验鱼及驯化

选取健康、无伤病、体长与体重基本一致[平均体重（27.60±0.13） g，平均体长（11.60±0.09） cm]的拉氏鱥幼鱼1 080尾，随机放入36个网箱内，每个网箱放养30尾。将36个网箱随机分为12个组，每组3个重复（网箱）。试验鱼在网箱中驯化1周，每天06:30、10:30、14:30和18:30各投喂饲料1次。

1.3　试验饲料

试验设 4 个蛋白质水平，分别为 23%、28%、33%、38%，每个蛋白质水平下设 3 个脂肪水平，分别为 5%、8%、11%。以鱼粉和豆粕为蛋白质源，豆油为脂肪源，糊精为糖源，共配制 12 种试验饲料。试验饲料的总糖含量在 25%左右，蛋能比在 18.71~31.30 mg/kJ 范围内（以微晶纤维素作为调节物质，不计算在内），用小型环模饲料机制粒，粒径为 2.0 cm。

表 1　试验饲料组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　%

项目 Items	组别 Groups											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
原　料 Ingredients												

鱼粉 Fish meal	29.0	29.0	29.0	35.5	35.5	35.5	41.5	41.5	41.5	47.5	47.5	47.5
豆粕 Soybean meal	8.0	8.0	8.0	10.0	10.0	10.0	12.0	12.0	12.0	14.0	14.0	14.0
糊精 Dextrin	20.0	20.0	20.0	18.0	18.0	18.0	16.0	16.0	16.0	14.0	14.0	14.0
豆油 Soybean oil	2.1	5.0	8.1	1.5	4.5	7.5	0.9	3.9	6.9	0.3	3.3	6.3
维生素矿物盐预混料 Vitamin and mineral premix	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
氯化胆碱 Choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
纤维素 Cellulose	31.7	28.8	25.7	25.8	22.8	19.8	20.4	17.4	14.4	15.0	12.0	9.0
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels												
干物质 DM	90.37	89.72	90.66	89.56	90.57	88.59	90.37	90.16	89.46	90.43	88.68	90.22
粗脂肪 EE	5.13	8.10	11.2	5.10	8.16	11.0	5.16	8.28	11.2	5.07	8.24	11.3

			4			8			9			2
粗蛋白质 CP	22.98	23.24	23.07	27.90	28.26	28.02	33.09	33.28	33.12	37.93	37.98	38.11
粗灰分 Ash	5.47	5.63	5.73	5.39	5.66	5.93	5.28	5.58	5.62	5.83	5.74	5.93
总糖 Total carbohydrate	25.51	25.23	25.47	24.79	24.88	24.58	24.01	24.25	24.17	23.21	23.35	23.16
总能 Gross energy/(kJ/g)	10.03	11.14	12.33	10.72	11.94	12.95	11.48	12.72	13.81	12.12	13.34	14.49
蛋能比 P/E/(mg/kJ)	22.91	20.86	18.71	26.03	23.67	21.64	28.82	26.16	23.98	31.30	28.47	26.30

维生素矿物盐预混料为每千克饲料提供Vitamin and mineral premix provided the following per kg of diets:VA 60 000 IU,VD_3 20 000 IU,VE 500 mg,VK_3 50 mg, VB_6 100 mg,VB_1 120 mg, VB_{12} 0.5 mg, VB_2 200 mg,VC 4 000 mg,泛酸钙 calcium pantothenate 400 mg,叶酸 folic acid 32 mg,烟酸 nicotinic acid 500 mg,生物素 biotin 4 mg,食盐 NaCl 60 000 mg,肉毒碱carnitine 2 000 mg,总磷 total phosphorus 32 000 mg,胆碱 choline 15 000 mg,$FeSO_4$ 2 000 mg,$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 150 mg,$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 500 mg,$MgSO_4 \cdot H_2O$ 2 500 mg,$MnSO_4 \cdot H_2O$ 250 mg,KI 20 mg,$CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 25 mg,Na_2SeO_3 5 mg。

1.4 饲养管理

试验水源来自铁岭县青年水库，试验期间水温（23±4） ℃，pH 在 7.6 左右。每个网箱放 1 块气石，全天 24 h 充氧。养殖水体透明度在 20~30 cm，氨氮（NH_3-N）浓度＜0.4 mg/L，每天投喂 4 次，分别在 06:30、10:30、14:30 和 18:30，根据剩余残饵量及体重变化来调整投喂量，每隔 15 d 测定 1 次体重，投喂量为平均体重的 5%，饲养时间为 60 d。

1.5 攻毒试验

在试验结束后，每组挑选 25 尾鱼进行攻毒试验。病原菌采用的是嗜水气单胞菌（*Aeromonas hydrophila*），由辽宁省水生动物病害防治重点实验室提供，将 2 次活化后的嗜水气单胞菌用无菌生理盐水稀释，通过预试验确定选用的浓度约为 1×10^7 CFU/mL。试验鱼按每 100 g 体重腹腔注射菌液 1.0 mL 进行攻毒，注射后将试验鱼放入塑料水槽中，水体 24 h 连续充氧，观察鱼体死亡情况并统计。

1.6 测定指标

1.6.1 生长指标测定

特定生长率（SGR,%/d）=100×（lnW_t-lnW_0）/d；

增重率（WGR,%）=100×（W_t–W_0）/W_0；

蛋白质效率（PER,%）=(W_t–W_0)/(F×CP)；

存活率（SR %）=100×N_t/N_0；

饲料系数(FCR)=F/(W_t–W_0)。

式中：W_t 为终末体重（g）；W_0 为初始体重（g）；d 为饲养天数（d）；N_t 为终末尾数；N_0 为初始尾数；F 为投饲量（g）；CP 为饲料中粗蛋白质含量（%）。

1.6.2 鱼体及饲料样品营养成分测定

样品中水分、粗灰分、粗蛋白质、粗脂肪含量分别采用恒温干燥法、马福炉（550 ℃）灼烧法、凯氏定氮法和索氏抽提法测定；总糖含量的测定采用3,5-二硝基水杨酸法；微机量热仪测定总能[11-12]。

1.7 数据处理与分析

试验数据用平均值±标准误（mean±SE）表示。4个蛋白质水平和3个脂肪水平数据采用SPSS 17.0软件进行双因素方差分析，4个蛋白质水平之间的数据和3个脂肪水平之间的数据采用SPSS 17.0软件进行单因素方差分析，SNK检验和Duncan氏法多重比较组间差异，P＜0.05表示差异显著[13]。

2 结果与分析

2.1 不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼生长性能的影响

表 2 列出了饲养 60 d 后各组拉氏鱥幼鱼的增重率、特定生长率、饲料系数、蛋白质效率和存活率。从中可以看出，饲料蛋白质水平对拉氏鱥幼鱼的增重率、特定生长率、蛋白质效率和饲料系数有显著或极显著影响（P＜0.05 或 P＜0.01），饲料脂肪水平对拉氏鱥幼鱼的蛋白质效率和饲料系数有显著影响（P＜0.05），但饲料中蛋白质和脂肪水平对各生长性能指标均无显著交互作用（P＞0.05）。28%蛋白质组的增重率、蛋白质效率显著高于其他 3 组（P＜0.05），而饲料系数则显著低于其他 3 组（P＜0.05），同时该组的特定生长率显著高于 32%和 36%蛋白质组（P＜0.05）。8%脂肪组的蛋白质效率显著高于其他 2 组（P＜0.05），其饲料系数仅显著低于 11%脂肪组（P＜0.05），与 5%脂肪组差异不显著（P＞0.05）。

综合生长、蛋白质利用率和饲料利用情况，拉氏鱥适宜的蛋能比水平为 23.67~26.03 mg/kJ，饲料蛋白质水平为 23%~28%，脂肪水平为 5%~8%。

表 2　摄食不同蛋白质和脂肪水平饲料的拉氏鱥幼鱼的生长性能

Table 2　Growth performance of juvenile *Phoxinus lagowskii* fed the diets containing various protein and lipid levels （*n*=3）

组别 Groups	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/（%/d）	蛋白质效率 PER/%	饲料系数 FCR	存活率 SR/%
1	142.97±4.65^{cde}	1.53±0.05^{bcde}	1.41±0.16^{d}	1.39±0.02^{bc}	86.67±6.94
2	150.61±8.03^{cd}	1.57±0.01^{bcd}	1.76±0.22^{c}	1.54±0.04^{c}	88.89±2.22
3	161.90±12.79^{bc}	1.60±0.08^{bc}	2.30±0.11^{b}	1.58±0.14^{c}	83.33±5.09
4	179.51±7.13^{ab}	1.62±0.03^{b}	2.13±0.09^{b}	1.52±0.03^{c}	86.67±6.94
5	182.96±5.13^{a}	1.74±0.02^{a}	2.63±0.06^{a}	0.86±0.05^{a}	90.00±5.09
6	141.79±7.68^{cde}	1.50±0.03^{d}	1.75±0.14^{c}	1.54±0.06^{c}	80.00±1.92
7	138.25±2.72^{de}	1.45±0.02^{de}	1.51±0.18^{d}	1.63±0.10^{c}	86.00±0.44
8	143.97±5.18^{cde}	1.49±0.04^{cde}	1.77±0.21^{c}	1.21±0.08^{b}	85.56±5.29
9	138.57±4.09^{de}	1.47±0.11^{cde}	1.52±0.07^{d}	1.50±0.12^{c}	93.33±0.14
10	126.11±7.78^{e}	1.42±0.05^{e}	1.43±0.13^{d}	1.25±0.10^{b}	84.40±5.88
11	144.97±5.00^{cde}	1.49±0.03^{cde}	1.11±0.08^{e}	1.86±0.06^{d}	94.40±5.56
12	135.52±4.02^{de}	1.43±0.03^{e}	1.07±0.24^{e}	1.97±0.09^{d}	88.89±1.11
蛋白质水平 Protein level/%					
23	151.83±3.72^{b}	1.57±0.02^{a}	1.83±0.03^{b}	1.51±0.04^{b}	86.30±2.77
28	168.09±3.72^{a}	1.58±0.02^{a}	2.17±0.03^{a}	1.31±0.04^{a}	85.56±2.77
33	140.26±3.72^{c}	1.48±0.02^{b}	1.77±0.03^{b}	1.47±0.04^{b}	88.52±2.77
38	135.53±3.72^{c}	1.45±0.02^{b}	1.23±0.03^{c}	1.70±0.04^{c}	89.26±2.77
脂肪水平 Lipid level/%					
5	146.71±3.22	1.51±0.02	1.62±0.03^{b}	1.45±0.04^{ab}	86.11±2.40
8	155.63±3.22	1.52±0.02	1.82±0.03^{a}	1.37±0.04^{a}	89.72±2.40

11	144.45±3.22	1.50±0.02	1.66±0.03^{b}	1.65±0.04^{b}	86.39±2.40
双因素方差分析 Two-way ANOVA					
蛋白质水平 Protein level	*	*	**	**	ns
脂肪水平 Lipid level	ns	ns	*	*	ns
互作 Interaction	ns	ns	ns	ns	ns

同一列数据肩标不同字母表示差异显著(P＜0.05)；*表示差异显著（P＜0.05），**表示（P＜0.01），ns 表示无显著差异(P>0.05)。下表同。

Values in the same column with different letter superscripts were significantly different (P＜0.05)；* represented significant difference (P＜0.05), ** represented extremely significant difference (P＜0.01), and ns represented no significant difference (P>0.05). The same as bellow.

2.2 不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼体成分的影响

经过了 60 d 的饲养，各组拉氏鱥幼鱼全鱼粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和水分含量见表3。从表中可知，饲料蛋白质水平对全鱼粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量有显著影响（P＜0.05），饲料脂肪水平对全鱼粗脂肪和粗灰分含量有显著影响（P＜0.05），但饲料中蛋白质和脂肪水平对各体成分指标均无显著交互作用（P＞0.05）。随着饲料中蛋白质水平的升高，全鱼粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量均呈现出先升高后降低的趋势，最高值出现在 28%蛋白质组。随着饲料中脂肪水平的升高，全鱼粗脂肪含量呈现升高的趋势，但 8%和 11%脂肪组差异不显著（P＞0.05）。

表 3　摄食不同蛋白质和脂肪水平饲料的拉氏鱥幼鱼的体成分(湿重基础)

Table 3　Body composition of juvenile *Phoxinus lagowskii* fed the diets containing various protein and lipid levels (wet weight basis, n=3)　　%

组别 Groups	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Ash	水分 Moisture
1	14.75±0.10^{cd}	7.01±0.12^{d}	3.46±0.07^{d}	74.14±1.22^{bc}
2	15.49±0.17^{b}	7.27±0.05^{cd}	3.00±0.12^{g}	74.08±2.17^{c}
3	15.44±0.18^{b}	8.77±0.23^{a}	3.70±0.07^{b}	71.21±1.16^{e}
4	16.13±0.20^{a}	7.62±0.07^{bc}	3.86±0.14^{a}	71.60±2.25^{e}

5	16.59±0.06^{a}	8.14±0.04^{b}	3.51±0.08^{cd}	70.54±2.27^{f}
6	16.19±0.13^{a}	8.57±0.13^{a}	3.28±0.06^{e}	71.42±1.31^{e}
7	16.27±0.17^{a}	8.81±0.09^{a}	3.59±0.12^{bc}	70.39±1.11^{f}
8	14.91±0.09^{c}	8.01±0.11^{b}	3.22±0.23^{ef}	71.94±2.34^{e}
9	14.88±0.05^{c}	7.49±0.15^{bc}	3.22±0.10^{ef}	74.63±3.09^{b}
10	14.85±0.14^{c}	7.54±0.22^{bc}	3.07±0.08^{g}	73.26±2.10^{d}
11	14.90±0.04^{c}	8.61±0.12^{a}	3.21±0.06^{fg}	71.78±2.18^{e}
12	14.35±0.11^{d}	7.03±0.09^{d}	2.99±0.11^{g}	75.47±0.22^{a}
蛋白质水平 Protein level/%				
23	15.22±0.09^{b}	7.68±0.08^{b}	3.39±0.11^{b}	73.14±1.14
28	16.31±0.09^{a}	8.11±0.08^{a}	3.55±0.11^{a}	71.19±1.14
33	15.36±0.09^{b}	8.11±0.08^{a}	3.35±0.11^{b}	72.32±1.14
38	14.70±0.09^{c}	7.73±0.08^{b}	3.06±0.11^{c}	73.50±1.14
脂肪水平 Lipid level/%				
5	15.50±0.08	7.75±0.07^{b}	3.51±0.11^{a}	72.35±1.00
8	15.47±0.08	8.01±0.07^{a}	3.21±0.11^{c}	72.09±1.00
11	15.22±0.08	7.96±0.07^{a}	3.30±0.11^{b}	73.18±1.00
双因子方差分析 Two-way ANOVA				
蛋白质水平 Protein level	**	*	*	ns
脂肪水平 Lipid level	Ns	*	*	ns
互作 Interaction	Ns	ns	ns	ns

2.3 不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼感染嗜水气单胞菌后的保护作用

在嗜水气单胞菌攻毒 12 h 后，拉氏鱥幼鱼就不同程度表现出由嗜水气单胞菌引起的典型的出血性败血症，如肛门红肿、鳍条基部和体表充血等症状。攻毒 48 h 后，1~12 组的存活率依次为 76%、64%、60%、84%、60%、52%、48%、36%、40%、44%、36%、32%。通过数据统计分析，摄食蛋白质水平在 23%~28%、脂肪水平在 5%~8%的试验饲料的试验鱼的存活率较高，说明其抗病能力强，免疫力好。

3 讨 论

3.1 不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼生长的影响

蛋白质和脂肪是鱼类饲料组成定量的最重要的基础参数，饲料中的蛋白质能给动物机体提供必需的氨基酸，饲料中的脂肪能给动物生长提供必需的脂肪酸，使体内的脂溶性维生素更好地被吸收利用[14]，合适的蛋白质和脂肪水平对于鱼类的生长起到至关重要的作用[15]。拉氏鱥属于杂食性鲤科鱼类，有关该鱼人工配合饲料的营养水平还没有学者专门进行研究。如果在实际生产中蛋白质水平过高，会导致部分蛋白质源被浪费，从而污染水质和提高饲料成本；如果蛋白质水平过低，容易造成拉氏鱥在养殖过程中营养素摄入不均衡。同样，饲料中脂肪水平过高或者过低也会影响拉氏鱥的生长。因此，研究拉氏鱥的适宜蛋白质和脂肪需求量具有重要意义。

目前，鱼类饲料中适宜蛋能比差异较大，主要是由鱼的种类、年龄、天气、水温环境、食性、饲料蛋白质源的质量、非蛋白质能源质量以及计算总能时所采用生理数值的不同而导致的[16-18]。

在本试验中，随着饲料中蛋白质水平的升高，试验鱼的特定生长率和蛋白质效率出现先升高后降低的趋势，鱼类的最大生长并未发生在最高蛋白质水平组，而是在较低的蛋白质水平组，这与Samantaray等[19]的研究结果相一致，这说明此时饲料中的蛋白质和能量达到了平衡状态。另外，通过试验数据发现，在适宜蛋白质水平（28%）下，适当增加饲料中脂肪水平可以提高拉氏鱥幼鱼的特定生长率与饲料的蛋白质效率，说明饲料中的脂肪起到了节约蛋白质的作用，这与Ai等[20]的研究结果相似。在本试验中，当蛋能比为23.67~26.03 mg/kJ，蛋白质水平为23~28%，脂肪水平为5~8%时，拉氏鱥幼鱼的特定生长率和蛋白质效率达到最大值，且饲料系数达到了最小值，这一研究结果与张萍等[21]在鲫鱼上所得结论相似，说明食性相同的同科鱼类对营养需求相近。有学者研究发现，饲料中蛋白质和脂肪水平对鱼类的存活率没有显著影响[22-23]，这与本试验结果一致。

3.2 不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼体成分的影响

鱼体蛋白质含量的增加可作为鱼类生长的一个最重要的标志。本试验结果表明，全鱼粗蛋白质含量从低蛋白质组（23%蛋白质组）出现稳步上升，在中蛋白质组（28%蛋白质组）达到了最大值，之后在高蛋白质组（33%、38%）开始降低，初步分析可能是拉氏鱥幼鱼只有在合适的蛋能比范围内才能获得最大的生长，饲料中过高水平的蛋白质没有被机体利用合成鱼体蛋白质，反而会被当做能量消耗掉，这和 Samantaray 等[19]在鳢鱼（*Channa striata*）上以及温小波等[24]在中华鲟（*Acipenser sinensis*）上的研究结果相似。本试验所得出数据还

显示，在中低蛋白质水平（23%、28%）下，随着饲料中脂肪水平的升高，全鱼粗脂肪含量有升高的趋势；但是在高蛋白质水平（33%、38%）下，随着饲料脂肪水平的升高，全鱼粗脂肪含量则无升高的趋势。分析原因，作者认为当拉氏鱥幼鱼对蛋白质需求得不到满足或超出其生长需求量的时候，非蛋白质能源（脂肪、糖类等）不能代替蛋白质来提高生长，这与Peres 等[25]、Company 等[26]在欧洲鲈（*Dicentrarchus labrax*）上以及刘永坚等[27]在红姑鱼（*Sciaenops ovellatus*）上所得结果一致。

3.3 不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏鱥幼鱼免疫力的影响

嗜水气单胞菌广泛分布于自然界的各种水体中，是多种水生动物的原发性致病菌，为条件致病菌，是典型的人、兽、鱼共患病原菌。嗜水气单胞菌在水温 14.0～40.5 ℃范围内都可繁殖，且毒性很强，通常作为致病菌进行攻毒试验[28-29]，试验动物的存活率可以综合反映该动物的免疫力[30]。本试验发现，在拉氏鱥幼鱼注射嗜水气单胞菌后 12 h，不同程度出现了典型的出血症状，在 24 h 后达到死亡的高峰，这与徐磊等[31]的研究结果相一致。攻毒 48 h 后，低、中蛋白质组（23%和 28%蛋白质组）的存活率高于高蛋白质组（33%和 38%蛋白质组），低脂肪组（5%脂肪组）的存活率高于其他 2 个脂肪组（8%和 11%组）。蔡春芳等[32]研究发现，体脂含量的增加与免疫力下降有一定的相关性，这与本试验结果相一致。

4 结 论

综合生长、体成分和免疫力得出，拉氏鱥幼鱼饲料适宜的蛋能比为 23.67~26.03 mg/kJ，蛋白质水平为 23%~28%，脂肪水平为 5%~8%。

参考文献:

[1] 伍献文.中国鲤科鱼类志・上卷[M].上海:上海科学技术出版社,1964:26–27.

[2] 高庆军.野生柳根鱼(长尾鱥)成鱼池塘生态养殖技术[J].黑龙江水产,2010(3):12–13.

[3] 程湘军.野生柳根鱼池塘人工驯养技术[J].黑龙江水产,2010(1):20–22.

[4] 骆小年,李军,杨培民,等.拉氏鱥池塘苗种培育试验[J].水产科学,2014,33(3):186–189.

[5] 金广海,杨培民,骆小年,等.池塘主养食用拉氏鱥试验[J].水产科学,2014,33(12):790–793.

[6] 邵占武,张玉国,吴庆忠.柳根鱼的池塘养殖[J].特种经济动植物,2010,13(11):8–9.

[7] 张永泉,尹家胜,杜佳,等.雌雄洛氏鱥肌肉营养成分的比较分析[J].食品科学,2013,34(17):259–262.

[8] 康鑫,张远,张楠,等.太子河洛氏鱥幼鱼栖息地适宜度评估[J].生态毒理学报,2011,6(3):310–320.

[9] 宋学宏,凌去非,蔡春芳,等.丁鱥的营养素需要量及饲料最适能量蛋白比[J].饲料工业,2004,25(9):53–56.

[10] 白东清,王凤霞,郭永军,等.中草药对丁鱥诱食效果的初步研究[J].天津农学院学报,2009,16(1):5–8.

[11] 李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,2000:199–201.

[12] 桂远明.水产动物机能学试验[M].北京:中国农业出版社,2004:113–120.

[13] 明道绪.生物统计附试验设计[M].北京:中国农业出版社,2001:94–95.

[14] WATANABE T.Lipid nutrition in fish[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Comparative Biochemistry,1982,73(1):3–15.

[15] CHOU B S,SHIAU S Y.Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia,*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*[J].Aquaculture,1996,143(2):185–195.

[16] 刘玮,戴年华,任本根,等.不同脂肪源饲料对团头鲂稚鱼生长的影响[J].水产学报,1997,21(Suppl):44–48.

[17] BOGEVIK A S,HENDERSON R J,MUNDHEIM H,et al.The influence of temperature on the apparent lipid digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed *Calanus finmarchicus* oil at two dietary levels[J].Aquaculture,2010,309(1/2/3/4):143–151.

[18] WINFREE R A,STICKNEY R R.Effects of dietary protein and energy on growth,feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*[J].The Journal of Nutrition,1981,111(6):1001–1012.

[19] SAMANTARAY K,MOHANTY S S.Interactions of dietary levels of protein and energy on fingerling snakehead,*Channa striata*[J].Aquaculture,1997,156(3/4):241–249.

[20] AI Q H,MAI K S,LI H T,et al.Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass,*Lateolabrax japonicus*[J].Aquaculture,2004,230(1/2/3/4):507–516.

[21] 张萍,赵振伦,杨沁芳.鲫鱼营养研究进展及其配合饲料营养标准探讨[J].浙江海洋学院

学报:自然科学版,2001,20(增刊):46–50.

[22] 蒋阳阳,李向飞,刘文斌,等.不同蛋白质和脂肪水平对 1 龄团头鲂生长性能和体组成的影响[J].水生生物学报,2012,36(5):826–836.

[23] BISWAS B K,JI S C,BISWAS A K,et al.Dietary protein and lipid requirements for the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* juvenile[J].Aquaculture,2009,288(1/2):114–119.

[24] 温小波,库夭梅,罗静波.中华鲟配合饲料适宜蛋白质含量及最佳蛋白能量比研究[J].海洋科学,2003,27(4):38–43.

[25] PERES H,OLIVA-TELES A.Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*)[J].Aquaculture,1999,179(1/2/3/4):325–334.

[26] COMPANY R,CALDUCH-GINER J A,PÉREA-SÁNCHEZ J.Protein sparing effect of dietary lipids in common dentex (*Dentex dentex*):a comparative study with sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*)[J].Aquatic Living Resource,1999,12(1):23–30.

[27] 刘永坚,刘栋辉,田丽霞,等.饲料蛋白质和能量水平对红姑鱼生长和鱼体组成的影响[J].水产学报,2002,26(3):242–246.

[28] FAO/WHO/UNU.Energy and protein requirements[R].FAO Nutrition Meeting Report Series No.52,Geneva：WHO,1973:40–73.

[29] 万金娟,刘波,戈贤平,等.日粮中不同水平维生素 C 对团头鲂幼鱼免疫力的影响[J].水生生物学报,2014,38(1):10–18.

[30] 徐磊,刘波,谢骏,等.甘露寡糖对异育银鲫生长性能、免疫及 HSP70 基因表达的影响[J].水生生物学报,2012,36(4):656–664.

[31] ERDAL J L,EVENSEN Ø,KAURSTAD O K,et al.Relationship between diet and immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) after feeding various levels of ascorbic acid and omega-3 fatty acids[J].Aquaculture,1991,98(4):363–379.

[32] 蔡春芳,吴康,潘新法,等.蛋白质营养对异育银鲫生长和免疫力的影响[J].水生生物学报,2001,25(6):590–596.

Effects of Different Protein and Lipid Level Diets on Growth, Body Composition and Immunity of Juvenile *Phoxinus lagowskii*

JIANG Xianghui LUO Xiaonian* JIN Guanghai LI Jingwei LIU Yixin YANG Peimin ZHANG Jian

(*Freshwater Fisheries Research Academy of Liaoning Province, Liaoning Key Laboratory for Prevention and Treatment of Aquatic Animal Diseases*, *Liaoyang* 111000, *China*)

Abstract: To evaluate the effects of different protein and lipid level diets on growth, body composition and Immunity of juvenile *Phoxinus lagowskii*, twelve practical diets were formulated to contain 23%, 28%, 33%, 38% of protein supplied with fish meal and soybean meal, and 5%, 8%, 11% of lipid supplied with soybean oil, respectively. Each diet was fed to 3 net cages for 60 d, and each net cage had 30 juvenile *Phoxinus lagowskii* with an initial average body weight of (27.60 ± 0.13) g. The results showed that protein level significantly affected weight gain rate (WGR), special growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER) and feed conversion rate (FCR)($P<0.05$), and lipid level significantly affected PER and FCR ($P<0.05$). No significant interactions between dietary protein and lipid levels existed for growth performance indices ($P>0.05$). The WGR and SGR of fish in 23% to 28% protein groups were significantly higher than those in 33% and 38% groups ($P<0.05$); whereas, the FCR of fish fed in 8% lipid group was significantly lower than that in 11% lipid group ($P<0.05$), but there was no significant difference between 8% and 5% lipid groups ($P>0.05$). With the increase of protein level, the crude protein, crude lipid and ash contents of whole body were firstly increased and then depressed, and the highest values of them were found when protein level was 28%. While moisture content of whole body was not significantly affected by dietary protein level ($P>0.05$). With the increase of lipid level, the crude lipid content of whole body showed an increasing trend, but no significant difference was found between 8% and 11% lipid groups ($P>0.05$). The survival rate in low and middle protein groups (23% and 28% protein groups) was higher than that in high protein groups

*Corresponding author, professor, E-mail: luo2989_cn@sina.com （责任编辑 菅景颖）

(33% and 38% protein groups) at 48 h after injecting *Aeromonas hydrophila*（$P<0.05$）. The survival rate in low lipid group (5% lipid group) was higher than that in other 2 groups (8% and 11% lipid groups) at 48 h after injecting *Aeromonas hydrophila*. In conclusion, the overall results in this study suggest that diet containing 23% to 28% protein and 5% to 8% lipid with a protein to energy ratio of 23.67 to 26.03 mg/kJ was suitable for juvenile *Phoxinus lagowskii*.

Key words: juvenile *Phoxinus lagowskii*; protein; lipid; growth; body composition; immunity